پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۹ شمارهٔ۲، نیمهٔ دوّم ۱۳۹۷، صفحهٔ ۵۴-۴۱

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 9, No. 2, 2018, p. 41-54
DOI: 10.22067/ijpr.v9i2.55252

تأثیر ترکیبات مختلف بستر کاشت بر انباشتگی فلزات سنگین در لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris* L.)

حمیدرضا بلوچی[1*]، فاطمه امینی[2]، محسن موحدی دهنوی[1] و محمود عطارزاده[3]

۱- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
۳- دانشجوی دکتری زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۴

چکیده

آلودگی خاک‌ها با فلزات سنگین اغلب ناشی از فعالیت‌های انسان بوده و کاهش میزان آن در گیاهان با استفاده از ترکیبات مختلف بستر کاشت راهکاری مؤثر و اقتصادی می‌باشد. به‌منظور بررسی تأثیر ترکیبات مختلف بستر کاشت بر انباشتگی فلزات سنگین در لوبیاچیتی (رقم صدرا)، آزمایشی به‌طور جداگانه برای چهار فلز سنگین (نیترات کادمیوم، نیترات سرب، نیترات نیکل و سولفات مس) و به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشگاه یاسوج در سال۱۳۹۲ اجرا گردید. فاکتور اول آزمایش شامل ترکیب‌های آلی خاک با چهار ترکیب (شاهد خاک، کمپوست، ورمی‌کمپوست و خاک‌اره سپیدار) و فاکتور دوم شامل غلظت هر فلز با دو سطح (شاهد و غلظت ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بودند. نتایج نشان داد که کاربرد کمپوست و ورمی‌کمپوست سبب افزایش میزان انباشت فلز کادمیوم در شاخساره و ریشه لوبیا گردید. از سوی دیگر کمپوست و خاک‌اره سپیدار سبب کاهش میزان نیکل در شاخساره و ریشه لوبیا گردید. همچنین بیشترین میزان انباشت مس در ریشه لوبیاچیتی، در شرایط کاربرد خاک‌اره سپیدار و کمپوست به دست آمد. انباشت فلزات سنگین در ریشه به‌مراتب بیشتر از شاخساره و دانه بود. در مجموع با توجه به انباشت کم فلزات سنگین در دانه لوبیاچیتی و جذب زیاد توسط ریشه و شاخساره، این گیاه جهت کشت در مناطق آلوده مناسب و درصورت امکان خروج ریشه و شاخساره از زمین و رشد سریع جهت گیاه پالایی نیز مناسب است.

واژه‌های کلیدی: خاک‌اره سپیدار، سولفات مس، کمپوست، گیاه پالایی، نیترات کادمیوم، نیترات نیکل

مقدمه

مطابق تعریف، فلزات سنگین عناصری هستند که وزن مولکولی آن‌ها از عنصر آهن سنگین‌تر و وزن مخصوص آن‌ها بیشتر از ۴/۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب می‌باشد. فلزات سنگینی مانند مس، نیکل و کبالت میل ترکیبی شدید با گروه‌های آهن سولفیدریل (SH) دارند و آنزیم‌ها را متلاشی کرده و قدرت آنزیمی آن‌ها را از بین می برند. فلزات سنگین، شامل عناصر نیکل (وزن مولکولی ۵۸/۶۹)، سرب (وزن مولکولی ۲۰۷/۲)، جیوه (وزن مولکولی ۲۰۰/۵۹)، مس (وزن مولکولی ۶۳/۵۵)، کروم (وزن مولکولی ۵۱/۹۹) و کادمیوم (وزن مولکولی ۱۱۲/۴۱) هستند. براساس گزارش محققان، گیاهانی که بتوانند فلزات نیکل، کروم، کبالت، مس، سرب و آلومینیوم را به میزان بیش از ۰/۱درصد، کادمیم و سلنیوم را به میزان بیش از ۰/۰۱درصد و جیوه را به میزان بیش از ۰/۰۰۱درصد وزن خشک اندام هوایی جذب و انباشت نمایند، بیش‌اندوز محسوب خواهند شد(Baker & Brooks 1989) . منابع طبیعی و انسانی بسیاری وجود دارند که می‌توانند باعث تجمع غلظت‌های بالایی از فلزات شوند که می‌توان آن‌ها را به منابع طبیعی، کشاورزی، صنعتی، شهری و حمل و نقل تقسیم کرد. میزان کافی کادمیوم در برگ‌ها بین ۰/۲-۰/۰۵، میزان سمی در برگ‌ها ۳۰-۵ و میزان سمیت در خاک سطحی ۸۰-۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک و میزان کافی سرب در برگ‌ها بین ۱۰- ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک، میزان سمی در برگ‌ها ۳۰۰- ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک و میزان سمیت در خاک سطحی ۴۰۰-۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک می‌باشد. همچنین میزان کافی نیکل در برگ‌ها بین ۵- ۰/۱، میزان سمی در برگ‌ها ۱۰۰- ۱۰ و میزان

*نویسنده مسئول: یاسوج، دانشگاه یاسوج، دانشکدهٔ کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، کدپستی ۳۳۶-۱۴۱۱۵، تلفن و دورنگار: ۰۷۴-۳۳۲۲۴۸۴۰،
balouchi@yu.ac.ir

سمیت در خاک سطحی ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خاک می‌باشد (Kafi *et al.*, 2009). هنگامی که یون‌های فلزات سنگین در سطوح بالا در محیط وجود داشته باشند، بیش از اندازه توسط ریشه گیاه جذب و به اندام‌های هوایی منتقل گشته و انباشته می‌شوند که منجر به صدمات متابولیسمی و کاهش رشد و عملکرد گیاه گردیده و از طرف دیگر این فلزات باعث کاهش فعالیت میکروبی و حاصلخیزی خاک می‌گردند (Yandi *et al.*, 2007).

فلزات پس از ورود به گیاه باید به صورت فعال در سلول‌های ویژه و اجزای سلولی به صورت بی‌اثر ذخیره شوند. این امر به عنوان یکی از سازوکارهای اصلی تحمل به فلزات سنگین درنظرگرفته می‌شود (Hall, 2002). تجمع و دفع، دو استراتژی اساسی در پاسخ گیاهان به افزایش غلظت فلزات سنگین هستند (Vogel-Mikus *et al.*, 2005). بافت‌های گیاهی نقش مهمی در تعدیل سمیت فلزات سنگین ایفا می‌کنند. از جمله برگ‌های گیاهان تفاوت گسترده‌ای در توانایی تجمع فلزات سنگین بسته به سن برگ دارند (Islam *et al.*, 2008). در چند سال اخیر پژوهشگران استفاده از گیاهان و فراورده‌های آلی را برای پالایش آلودگی خاک‌ها بنیان نهاده‌اند که این فن‌آوری، گیاه‌پالایی یا پالایش سبز نام گرفته است (Raskin *et al.*, 1997). گیاه‌پالایی یک تکنیک درحال گسترش و دوستدار محیط زیست است که از گیاهان مناسب برای پالایش محیط زیست آلوده استفاده می‌کند (Lasat, 2003). به‌طورکلی برای انتخاب یک گیاه برای هدف گیاه پالایی خاک باید قدرت جذب بالای گیاه، تولید زیست‌توده بالا و انتقال فلز در گیاه مدنظر قرار گیرد (Mahendran, 2014). به نظر می‌رسد سازوکارهای اساسی زیستی رفع آلودگی گیاه هنوز به‌طور کامل مورد شناسایی قرار نگرفته‌اند و هنوز اطلاعات بسیاری در مورد فرآیندهای مؤثر در نحوه رفع آلودگی فلزات سنگین ناشناخته باقی مانده است (Khan, 2005). صرف‌نظر از نوع گیاه مورد استفاده در روش گیاه‌پالایی، به کارگیری مواد اصلاحی آلی و معدنی در خاک سبب تغییر در حلالیت فلزات سنگین، میزان جذب و تجمع آنها در گیاه می‌گردد (Kayser *et al.*, 2000).

کمپوست مواد آلی به دلیل بالابودن مقدار مواد آلی، قدرت تبادل یونی و سطح جذب کاتیونی بالا با فلزات سنگین پیوند یافته و قادر است برای مدت زمان طولانی آلاینده‌ها را در خود نگهداری کند. کمپوست می‌تواند سطوح زیادی از فلزات محلول را از خاک حذف کرده و سمیت آن‌ها را کاهش دهد (Jadia & Fulekar, 2008). کاربرد کمپوست ضایعات سبز، نارگیل و پوست درخت به نسبت‌های ۱۰ و ۲۰ درصد به‌طور معنی‌داری میزان سرب، مس و روی در دسترس گیاه را کاهش داد. کاربرد کمپوست، کادمیوم قابل تبادل را حدود ۷۰درصد کاهش داد و بر کاهش مسمومیت گیاهی نیز مؤثر بود (Park *et al.*, 2011). گزارش شده است که ورمی‌کمپوست سبب کاهش میزان تجمع سرب در شاخساره‌ها و ریشه‌های لوبیا چشم‌بلبلی می‌گردد (Carrasquero Duran *et al.*, 2006). به عبارت دیگر وجود ورمی‌کمپوست در خاک به‌طور مؤثری جذب و انتقال سرب را محدود کرده است.

با توجه به اهمیت ترکیبات آلی بستر کاشت در کاهش آلودگی ناشی از فلزات سنگین در خاک و خطرات ناشی از این آلودگی برای گیاهان و در نتیجه سلامت انسان و از سوی دیگر بهبود فرایند گیاه‌پالایی در خاک‌های آلوده و ضرورت استفاده از راهکارهایی برای مقابله با این تنش‌ها، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر ترکیبات مختلف بستر کاشت بر کاهش سمیت و انباشتگی فلزات سنگین در لوبیاچیتی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر فلزات سنگین مختلف و ترکیبات مختلف بستر کاشت بر میزان تجمع فلزات سنگین در گیاه لوبیاچیتی رقم صدری به‌طور جداگانه برای چهار فلز سنگین (نیترات کادمیوم، نیترات سرب، نیترات نیکل و سولفات مس) و به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال۱۳۹۲ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج اجرا گردید. فاکتور اول آزمایش شامل ترکیب‌های آلی خاک با چهار ترکیب (شاهد خاک، کمپوست، ورمی‌کمپوست و خاک‌اره سپیدار) و فاکتور دوم شامل غلظت هر فلز با دو سطح (شاهد و غلظت ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بودند. غلظت فلزات سنگین در خاک و ترکیبات آلی قبل از اعمال تیمارهای فلزات سنگین در آزمایشگاه آب و خاک فارس اندازه‌گیری شد که در جدول ۱ آورده شده است.

ابتدا خاک و شن را از الک یک‌سانتی‌متری عبور داده و آن‌ها را به ترتیب به نسبت چهار به یک مخلوط کرده و سپس ترکیب‌های آلی خاک با نسبت پنج درصد وزنی (بر مبنای وزن پایه خشک) به طور دستی با خاک هر گلدان مخلوط شد (Angelova *et al.*, 2010). در مرحله بعد فلزات سنگین ذکرشده در بالا با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک توسط افشانه به خاک‌های تقویت‌شده (با ترکیبات آلی و خاک‌اره سپیدار) اضافه شد (Jadia & Fulekar, 2008). سپس کیسه‌های کشت با هفت کیلوگرم از خاک فوق پُر گردید. بعد از گذشت یک ماه (به دلیل یکنواخت‌شدن فلز سنگین با خاک) کاشت صورت گرفت.

لازم به ذکر است که قبل از کاشت ۰/۳گرم کود فسفات آمونیوم در لایه‌ی یک‌سانتی‌متری زیر بذر قرار داده شد (معادل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و ۰/۵گرم کود اوره (معادل ۱۵۰کیلوگرم در هکتار) همراه با اولین آب آبیاری به هر گلدان داده شد و ۰/۵گرم دیگر کود اوره (معادل ۱۵۰کیلوگرم در هکتار) نیز به صورت سرک طی مرحله گلدهی همراه با آب آبیاری اضافه گردید. طی دوره رشد، آبیاری گلدان‌ها تا حد ظرفیت زراعی انجام شد و نمونه‌برداری (در مرحله ۵۰درصد گلدهی) انجام گرفت.

جدول ۱- غلظت فلزات سنگین در خاک و ترکیبات آلی مورد آزمایش

Table 1. The concentration of heavy metals in soil and organic compounds tested

ترکیبات خاک Soil Compounds	کادمیوم Cadmium	سرب Pb	نیکل Nickel	مس Copper
	(میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک خاک) (mg per kg dry weight soil)			
خاک Normal soil	2.18	29.74	70.30	1.97
ورمی‌کمپوست Vermicompost	8.83	31.68	38.37	3.00
کمپوست Compost	6.90	34.51	22.60	10.00
خاک‌اره سپیدار Populus Sawdust	2.10	2.40	1.20	1.60

جهت اندازه‌گیری فلزات سنگین ۰/۵گرم از بافت گیاهی خشک‌شده (در دمای ۶۰درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ساعت در آون) و کوچک‌تر از ۰/۸۴میلی‌متر (عبورکرده از الک ۲۰مش) درون بشر یا لوله هضم ریخته شد و ۵میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به آن اضافه شد و در دهانه بشر شیشه ساعتی یا قیف قرار داده و اجازه داده شد تا یک شب بماند. بشر درپوشیده، روی هات‌پلیت قرار داده شد تا عمل هضم در دمای ۱۲۰درجه سانتی‌گراد برای یک ساعت انجام شود. سپس بشر از روی هات‌پلیت برداشته شد تا خنک شود. پس از آن ۳میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۳۰درصد به بشر اضافه گردید و عمل هضم در دمای ۱۲۵درجه سانتی‌گراد انجام شد. اضافه نمودن پراکسید هیدروژن ۳۰درصد تکرار شد تا ماده هضم‌شده شفاف شود و در هنگام نیاز، اسید نیتریک اضافه گردید تا از خشک‌شدن جلوگیری شود. هنگامی که مخلوط هضم شفاف شد، شیشه ساعت یا قیف برداشته شد و دمای هات‌پلیت به ۸۰درجه سانتی‌گراد کاهش داده شد، در غیراین‌صورت مجدداً ۳میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۳۰درصد به بشر اضافه گردید و عمل هضم در دمای ۱۲۵درجه سانتی‌گراد انجام شد. محلول‌های هضم‌شده با ۲۵میلی‌لیتر آب دوبارتقطیر رقیق شدند و با کاغذ واتمن شماره۴۲ صاف گردیدند. غلظت فلزات کادمیوم، سرب، نیکل و مس در محلول هضم‌شده با دستگاه جذب اتمی مدل VARIAN AAS-240 تعیین شد. استانداردهای به‌دست‌آمده نیز در پنج نسخه هضم شدند و با استفاده از روش هضم گیاه جهت اطمینان از کیفیت و خصوصیات کنترلی تجزیه شد (Mench *et al*., 1994).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت پذیرفت و مقایسه میانگین با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای صفاتی که اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار گردید، برش‌دهی اثرات متقابل نیز انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون L.S.Means در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

انباشتگی فلز کادمیوم در ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ترکیبات آلی و نیترات کادمیوم خاک در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر میزان انباشت فلز کادمیوم در ریشه از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس برش‌دهی اثر ترکیبات آلی در سطوح مختلف نیترات کادمیوم خاک نشان داد که بین ترکیبات آلی مختلف از نظر میزان انباشت فلز کادمیوم در ریشه لوبیا در شرایط بدون نیترات کادمیوم و کاربرد ۵۰میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم وزن خشک خاک از نظر آماری اختلاف معنی‌داری به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد وجود داشت (جدول ۳).

جدول ۲- منابع تغییرات، درجه آزادی و میانگین مربعات اثر ترکیبات آلی و نیترات کادمیوم خاک بر میزان تجمع کادمیوم در ریشه، شاخساره و دانه لوبیاچیتی

Table 2. Sources of variance, degrees of freedom and mean square of soil organic compounds and cadmium nitrate effect on accumulation of cadmium in the root, shoot and seed of pinto bean

منابع تغییرات **S.O.V**	درجه آزادی **df**	کادمیوم ریشه **Cadmium of root**	کادمیوم شاخساره **Cadmium of shoot**	کادمیوم دانه **Cadmium of seed**
ترکیبات آلی خاک **Soil organic compounds**	3	1689.63 **	0.53 *	0.17 n.s
نیترات کادمیوم **Cadmium nitrate**	1	8392.56 **	15.84 **	0.45 n.s
نیترات کادمیوم × ترکیبات آلی **Cadmium nitrate × Organic compounds**	3	420.79 *	0.88 **	0.13 n.s
خطا **Error**	16	81.19	0.14	0.08
ضریب تغییرات **C.V (٪)**	-	25.89	15.32	17.27

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار

*, ** and ns: significant at the 5 and 1 percent probability level and non-significant respectively

جدول ۳- منابع تغییرات، درجه آزادی و میانگین مربعات برش‌دهی اثر ترکیبات آلی خاک در سطوح مختلف نیترات کادمیوم برای میزان تجمع کادمیوم در ریشه و شاخساره لوبیاچیتی

Table 3 .Sources of variance, degrees of freedom and mean square of slicing the effect of soil organic compounds at different levels of cadmium nitrate for cadmium accumulation in root and shoot of pinto bean

نیترات کادمیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک خاک) **Cadmium nitrate (mg per kg of soil dry weight)**	درجه آزادی **df**	کادمیوم ریشه **Cadmium of root**	کادمیوم شاخساره **Cadmium of shoot**
0	3	296.30 *	0.13 n.s
50	3	1814.12 **	1.26 **

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار

*, ** and ns: significant at the 5 and 1 percent probability level and non-significant respectively

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط بدون نیترات کادمیوم، کاربرد کمپوست و ورمی‌کمپوست سبب افزایش میزان انباشت فلز کادمیوم به ترتیب به میزان ۲۱/۴ و ۱۹/۱میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک ریشه نسبت به شاهد (خاک معمولی) گردید. از سوی دیگر کاربرد خاک‌اره سپیدار سبب افزایش انباشت فلز کادمیوم به میزان ۸/۳میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک ریشه نسبت به شاهد (خاک معمولی) گردید (جدول ۴). در شرایط ۵۰میلی‌گرم نیترات کادمیوم، در تیمار کاربرد کمپوست و ورمی‌کمپوست، میزان انباشت فلز کادمیوم ریشه لوبیا به ترتیب ۷۹ و ۶۹/۴۰میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک ریشه بود که با کاربرد خاک‌اره سپیدار (۲۷میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک ریشه) اختلاف آماری معنی‌داری نشان داد. همچنین مقدار این صفت در خاک‌اره سپیدار با سطح شاهد فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بود (جدول۴).

تحقیقات نشان داد که کاربرد غلظت‌های صفر و ۴۰میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم وزن خشک خاک به ترتیب منجر با انباشت ۰/۰۳ و۳۱/۶۳میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم وزن خشک گیاه شد (Mozaffari *et al*., 2013). در این پژوهش در شرایط ۵۰میلی‌گرم نیترات کادمیوم و بدون ترکیب آلی خاک منجر به انباشت ۳۸میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم وزن خشک ریشه شد. همچنین جذب فلز کادمیوم در ریشه گیاه ذرت در کمپوست نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داده است (Carbonell *et al*., 2011). در این

پژوهش نیز جذب کادمیوم توسط کمپوست و ورمی‌کمپوست به صورت معنی‌داری افزایش یافت. ورمی‌کمپوست را می‌توان جهت حذف فلزات از خاک‌های آلوده مورد استفاده قرار داد، زیرا با فلزات پیوند برقرار کرده و جذب را از طریق فراهم‌کردن عناصر غذایی افزایش می‌دهد (Jadia & Fulekar, 2008). از سوی دیگر به‌نظر می‌رسد غلظت بالای کادمیوم در کود کمپوست و ورمی‌کمپوست نسبت به خاک‌اره و شاهد و همچنین پیوند ضعیف این عنصر با مواد آلی سبب افزایش غلظت آن در گیاه شده است.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ترکیبات آلی خاک در سطوح مختلف نیترات کادمیوم برای انباشتگی کادمیوم ریشه، شاخساره و دانه لوبیاچیتی

Table 4. The mean comparison of the soil organic compositions effect in different cadmium nitrate for cadmium accumulation in root, shoot and seed of pinto bean

نیترات کادمیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک خاک) Cadmium nitrate (mg per kg of dry weight of soil)	ترکیبات آلی خاک Soil organic compounds	کادمیوم ریشه Cadmium of root	کادمیوم شاخساره Cadmium of shoot	کادمیوم دانه Cadmium of seed
		(میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) (mg per kg of dry weight)		
0	خاک معمولی Normal soil	3.90 c	1.90 a	1.90 a
	کمپوست Compost	25.30 a	1.70 a	1.50 a
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	23.00 a	1.40 a	1.40 a
	خاک‌اره سپیدار Populus sawdust	12.20 b	1.60 a	1.30 a
50	خاک معمولی Normal soil	38.00 b	2.40 b	a 1.90
	کمپوست Compost	79.00 a	3.90 a	1.70 a
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	69.40 a	3.20 ab	1.60 a
	خاک‌اره سپیدار Populus sawdust	27.00 b	3.60 a	2.00 a

در هر ستون و هر سطح از نیترات کادمیوم خاک میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون L.S.Means ندارند.

Means followed by the same letters in each column and soil cadmium nitrate level are not significantly different by L.S.Means test

انباشتگی فلز کادمیوم در شاخساره

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای ترکیبات آلی خاک در سطح احتمال پنج درصد و نیترات کادمیوم و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری بر انباشت فلز کادمیوم در شاخساره داشت (جدول ۲). نتایج تجزیه واریانس برش‌دهی اثر ترکیبات آلی در سطوح مختلف نیترات کادمیوم خاک نشان داد که بین ترکیبات آلی مختلف در شرایط بدون مصرف نیترات کادمیوم برای میزان انباشت فلز کادمیوم در شاخساره لوبیا اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد، اما در سطح ۵۰میلی‌گرم نیترات کادمیوم در کیلوگرم وزن خشک خاک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد (جدول ۳).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سطح ۵۰میلی‌گرم نیترات کادمیوم در کیلوگرم وزن خشک خاک، میزان غلظت فلز کادمیوم در کاربرد کمپوست ۳/۹میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک شاخساره بود که نسبت به سطح شاهد (خاک معمولی) افزایش ۱/۵میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک شاخساره نشان داد، اما با کاربرد ورمی‌کمپوست و خاک‌اره سپیدار اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین سطح شاهد (خاک معمولی) با کاربرد ورمی‌کمپوست فاقد اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۴).

گزارش‌ها نشان می‌دهد که جذب فلز کادمیوم در شاخساره گیاه ذرت در حضور کمپوست نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (Carbonell *et al*., 2011). همچنین کاربرد ورمی‌کمپوست جذب فلز کادمیوم را در برگ

سیب‌زمینی نسبت به شاهد افـزایش داد (Angelova *et al*., 2010). تحقیقات نشان داد که هنگامی که غلظت کادمیوم در خاک کم باشد، تقویت‌کننده‌ها کارآیی بیشتری دارند و احتمالاً به دلیل این است که در غلظت‌های بالای کـادمیوم در خـاک، افزودن مقدار تقویت‌کننده جهت تثبیت تمـام کـادمیوم قابـل دسـترس، کـافی نخواهـد بـود (Chlopecka & Adriano, 1997). غلظت کادمیوم در بافت شاخساره در تمامی سـطح‌هـا بیشتر از میزان کافی آن در برگ‌هـا (۰/۲-۰/۰۵میلـی‌گـرم در کیلوگرم وزن خشک) بود.

انباشتگی فلز کادمیوم در دانه

نتایج جدول تجزیه واریـانس داده‌هـا نشـان داد کـه اثـر ترکیبات آلی خاک، نیتـرات کـادمیوم و بـرهمکنش آن‌هـا بـر میزان انباشت فلز کادمیوم در دانـه لوبیـا از نظـر آمـاری فاقـد اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۲). مقدار کادمیوم در دانـه گیـاه ذرت تقویت‌شده با کمپوست نسبت به شاهد نیز فاقد اخـتلاف آماری معنی‌دار بود (Carbonell *et al*., 2011).

انباشتگی فلز سرب

مقدار سرب در بافـت ریشـه، شاخسـاره و دانـه در کلیـه تیمارهای آزمایشی در حـد تشـخیص دسـتگاه نبـود. بـه نظـر می‌رسد که علت میزان انباشتگی پایین فلـز سـرب در لوبیـا را می‌توان به تحرک کم سرب در خاک و گیاه نسبت داد.

انباشتگی فلز نیکل در ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ترکیبات آلی خاک و نیترات نیکل برای میزان انباشت فلز نیکل در ریشه در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌داری بود، اما برهمکنش آن‌ها بر میزان انباشت فلز نیکل در ریشه از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

جدول ۵- منابع تغییرات، درجه آزادی و میانگین مربعات اثر ترکیبات آلی و نیترات نیکل خاک بر میزان تجمع نیکل در ریشه، شاخساره و دانه لوبیاچیتی

Table 5. Sources of variance, degrees of freedom and mean square of soil organic compounds and nickel nitrate effect on accumulation of nickel in the root, shoot and seed of pinto bean

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	نیکل ریشه Nickel of root	نیکل شاخساره Nickel of shoot	نیکل دانه Nickel of seed
ترکیبات آلی خاک Soil organic compounds	3	12.32 **	3.34 **	0.35 n.s
نیترات نیکل Nickel nitrate	1	48.87 **	0.02 n.s	1.04 n.s
نیترات نیکل × ترکیبات آلی Nickel nitrate × Organic compounds	3	2.11 n.s	0.70 **	0.07 n.s
خطا Error	16	0.94	0.09	0.40
ضریب تغییرات C.V (٪)	-	7.85	12.65	21.16

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار

*, ** and ns: significant at the 5 and 1 percent probability level and non-significant respectively

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان انباشت فلز نیکل در ریشه لوبیا مربوط به سطح شاهد (خاک معمولی) با میانگین ۱۴/۴۵میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک ریشه بود و کمترین مقدار این صفت در کاربرد خاک‌اره سپیدار با میانگین ۱۱/۴۲میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک ریشه بود که با کاربرد کمپوست و ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول۶). مقایسه میانگین غلظت‌های نیترات نیکل در ریشه لوبیا نشان داد که میزان انباشت فلز نیکل در غلظت ۵۰ میلی‌گرم، ۱۳/۷۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک ریشه بود که نسبت به شرایط بدون نیترات نیکل افزایش به میزان ۲/۸۵میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک ریشه مشاهده گردید (جدول ۷). پیوند قوی عنصر نیکل با مواد آلی و ایجاد فرم‌های پایدار این فلز سبب کاهش معنی‌دار غلظت نیکل در بافت ریشه لوبیا نسبت به خاک معمولی شده است. ترکیبات مواد آلی خاک مهم‌ترین مواد جاذب برای فلزات سنگین هستند که می‌توانند این فلزات را برای مدت طولانی تثبیت کنند. فلزات سنگین می‌توانند بسته به شرایط محیط خاک تثبیت و یا غیرفعال شوند (Lavando, 1998). همچنین در بین ترکیبات با وجود عدم اختلاف معنی‌دار، جذب نیکل در ریشه با کاربرد خاک‌اره سپیدار نسبت به کمپوست و ورمی کمپوست کمتر بوده است.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر ترکیبات آلی خاک بر انباشتگی نیکل در ریشه لوبیاچیتی

Table 6. The mean compares of soil organic compounds effect on nickel accumulation in root of pinto bean

ترکیبات آلی خاک **Soil organic compounds**	نیکل ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) **Nickel of root (mg per kg of dry weight)**
خاک معمولی **Normal soil**	14.45 a
کمپوست **Compost**	11.50 b
ورمی‌کمپوست **Vermicompost**	12.00 b
خاک‌اره سپیدار **Populus sawdust**	11.42 b

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵درصد ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر نیترات نیکل بر انباشتگی نیکل در ریشه لوبیاچیتی

Table 7. The mean compares of nickel nitrate effect on nickel accumulation in root of pinto bean

نیکل (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک خاک) **Nickel (mg per kg of dry weight of soil)**	نیکل ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) **Nickel of root (mg per kg of dry weight)**
0	10.92 b
50	13.77 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵درصد ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

جدول ۸- منابع تغییرات، درجه آزادی و میانگین مربعات برش‌دهی اثر ترکیبات آلی خاک در سطوح مختلف نیترات نیکل برای میزان تجمع نیکل در شاخساره لوبیا چیتی

Table 8. Sources of variance, degrees of freedom and mean square of slicing the effect of soil organic compounds at different levels of nickel nitrate for nickel accumulation in shoot of pinto bean

نیترات نیکل (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک خاک) **Nickel nitrate (mg per kg of dry weight of soil)**	درجه آزادی **df**	نیکل شاخساره **Nickel of shoot**
0	3	2.32 **
50	3	1.81 **

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

**: significant at the 1 percent probability

انباشتگی فلز نیکل در شاخساره

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ترکیبات آلی خاک و برهمکنش ترکیبات آلی خاک و نیترات نیکل بر مقدار نیکل شاخساره در سطح احتمال یک درصد اختلاف آماری معنی‌داری داشتند، اما نیترات نیکل بر میزان انباشت فلز نیکل در شاخساره فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج برش‌دهی اثر ترکیبات آلی خاک بر میزان انباشت فلز نیکل در شاخساره در سطح‌های صفر و ۵۰میلی‌گرم نیترات نیکل در کیلوگرم وزن خشک خاک در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت آماری معنی‌دار بود (جدول ۸).

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر ترکیبات آلی خاک در سطوح مختلف نیترات نیکل برای انباشتگی نیکل شاخساره لوبیاچیتی

Table 9. The mean comparison of the soil organic compositions effect in different nickel nitrate for nickel accumulation in shoot of pinto bean

نیترات نیکل (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک خاک) Nickel nitrate (mg per kg of dry weight of soil)	ترکیبات خاک Soil compounds	نیکل شاخساره Nickel of shoot (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) (mg per kg of dry weight)
0	خاک معمولی Normal soil	3.25 a
	کمپوست Compost	2.33 b
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	2.83 a
	خاک‌اره سپیدار Populus sawdust	1.25 c
50	خاک معمولی Normal soil	2.83 a
	کمپوست Compost	1.91 b
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	3.16 a
	خاک‌اره سپیدار Populus sawdust	1.50 b

در هر سطح از نیترات نیکل خاک، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون L.S.Means ندارند.

Means followed by the same letters in each soil nickel nitrate level are not significantly different by L.S.Means test.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سطح صفر (بدون نیترات نیکل)، میزان انباشت نیکل در سطح شاهد (خاک معمولی) با میانگین ۳/۲۵میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک شاخساره بود که افزایش انباشت نیکل به میزان ۰/۹۲میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک شاخساره را نسبت به کاربرد کمپوست نشان داد (جدول ۹). همچنین کمترین مقدار این صفت مربوط به کاربرد خاک‌اره سپیدار با میانگین ۱/۲۵میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک شاخساره بود. در سطح ۵۰میلی‌گرم نیترات نیکل، میزان انباشت نیکل در کاربرد ورمی‌کمپوست با میانگین ۳/۱۶میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک شاخساره بود و با سطح شاهد (۲/۸۳میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک شاخساره) اختلاف آماری معنی‌داری نشان نداد، اما مقدار این صفت در کاربرد خاک‌اره سپیدار سبب کاهش به میزان ۱/۳۳میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک شاخساره نسبت به شاهد شد (جدول ۹).

محققان بیان کردند که میزان جذب فلزات سنگین خاک در گیاه همراه با افزایش ترکیبات آلی مانند کمپوست و ورمی‌کمپوست با گذشت زمان کاهش می‌یابد که علت را جذب شدید آن‌ها توسط خاک و مواد آلی می‌دانند (Chang *et al*., 1987). همچنین جذب فلز نیکل در شاخساره گیاه ذرت تقویت‌شده با کمپوست بیشتر از شاهد بود (Carbonell *et al*., 2011). تحقیقات نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست به میزان ۲۰ و ۴۰تن در هکتار اثر معنی‌داری بر جذب فلز نیکل در اندام هوایی گیاه برنج در مقایسه با شاهد نداشت. در این آزمایش ورمی‌کمپوست و شاهد بیشترین میزان جذب را داشتند و با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. غلظت نیکل در بافت شاخساره در تمامی سطح‌ها در محدوده میزان کافی آن در برگ‌ها (۵-۰/۱میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) بود (Mousavi *et al*., 2012).

انباشتگی فلز نیکل در دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ترکیبات آلی خاک، نیترات نیکل و برهمکنش آن‌ها بر مقدار نیکل در دانه از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار بود (جدول۵).

انباشتگی فلز مس در ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ترکیبات آلی خاک، سولفات مس و برهمکنش آن‌ها بر مقدار فلز مس در ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۰). نتایج برش‌دهی اثر ترکیبات آلی خاک بر میزان انباشت فلز مس در ریشه در سطح‌های صفر و ۵۰ (میلی‌گرم سولفات مس در کیلوگرم وزن خشک خاک) در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود (جدول ۱۱).

جدول ۱۰- منابع تغییرات، درجه آزادی و میانگین مربعات اثر ترکیبات آلی و سولفات مس خاک بر میزان تجمع مس در ریشه، شاخساره و دانه لوبیاچیتی

Table 10. Sources of variance, degrees of freedom and mean square of soil organic compounds and copper sulfate effect on accumulation of copper in the root, shoot and seed of pinto bean

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	مس ریشه Copper of root	مس شاخساره Copper of shoot	مس دانه Copper of seed
ترکیبات آلی خاک Soil organic compounds	3	913.73 **	2.50 **	0.78 *
سولفات مس copper sulfate	1	2470.51 **	5.27 **	5.04 **
سولفات مس × ترکیبات آلی copper sulfate × organic compounds	3	213.26 **	7.91 **	0.81 *
خطا Error	16	26.44	0.27	0.20
ضریب تغییرات C.V (٪)	-	20.86	14.63	13.43

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار

*, ** and ns: significant at the 5 and 1 percent probability level and non-significant respectively

جدول ۱۱- منابع تغییرات، درجه آزادی و میانگین مربعات برش‌دهی اثر ترکیبات آلی خاک در سطوح مختلف سولفات مس برای میزان تجمع مس در ریشه، شاخساره و دانه لوبیاچیتی

Table 11. Sources of variance, degrees of freedom and mean square of slicing the effect of soil organic compounds at different levels of copper sulfate for copper accumulation in root, shoot and seed of pinto bean

سولفات مس (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک خاک) Copper sulfate (mg per kg of dry weight of soil)	درجه آزادی df	مس ریشه Copper of root	مس شاخساره Copper of shoot	مس دانه Copper of seed
0	3	256.54 **	9.19 **	1.43 **
50	3	870.46 **	1.22 *	0.17 n.s

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار

*, ** and ns: significant at the 5 and 1 percent probability level and non-significant respectively

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سطح صفر (بدون سولفات مس)، بیشترین میزان انباشت فلز مس ریشه لوبیا به کاربرد خاک‌اره سپیدار با میانگین ۲۸/۳۳میلی‌گرم مس در کیلوگرم وزن خشک ریشه تعلق داشت که افزایش به میزان ۱۹/۲۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم وزن خشک ریشه نسبت به شاهد (خاک معمولی) نشان داد. اما مقدار این صفت در سطح شاهد (خاک معمولی) با کاربرد کمپوست و ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت. در سطح ۵۰میلی‌گرم سولفات مس، بیشترین میزان غلظت فلز مس ریشه در کاربرد خاک‌اره سپیدار با میانگین ۵۲/۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم وزن خشک ریشه مشاهده شد که نسبت به کاربرد کمپوست (۴۰/۸۳میلی‌گرم مس در کیلوگرم وزن خشک ریشه) اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار این صفت در سطح شاهد (خاک معمولی) با میانگین۱۲میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک ریشه مشاهده شد (جدول ۱۲).

هنگامی که غلظت مس در خاک کم باشد، کمپوست و ورمی‌کمپوست با تثبیت و غیرفعال‌کردن مس قابل‌دسترس، سبب کاهش جذب و انباشتگی فلز مس توسط گیاه می‌شود، اما در غلظت‌های بالای مس در خاک، افزودن کمپوست، ورمی‌کمپوست و خاک‌اره سپیدار جهت تثبیت تمام مس قابل دسترس کافی نخواهد بود. در پژوهش حاضر، کاربرد خاک‌اره سپیدار منجر به انباشت بیشترین مقدار فلز مس در ریشه در

سطح‌های صفر و ۵۰ میلی‌گرم سولفات مس در کیلوگرم وزن خشک خاک شد. دیواره ثانویه چوب از نظر لیگنین ضعیف، ولی از نظر سلولز غنی است؛ به‌همین دلیل فلز مس در واکنش با مواد سلولزی مانند خاک‌اره انباشته می‌شود (Basso *et al*., 2002). همچنین میزان جذب این عنصر با کاربرد کمپوست بیشتر از ورمی‌کمپوست بود و جذب در این دو بیشتر از شاهد بود. همچنین در تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست، اثر مثبت ورمی‌کمپوست بر جذب مس در ذرت مشاهده شد، ولی با افزایش ورمی‌کمپوست به ۵درصد این میزان کاهش یافت (Yaghtin *et al*., 2010). این مسئله احتمالاً به دلیل افزایش کمپلکس‌سازی مواد آلی با عناصر میکرو و در نتیجه کاهش دسترسی گیاه به آن‌ها می‌باشد. همچنین محققان گزارش نمودند کاربرد پنج درصد کمپوست، پیت و ورمی‌کمپوست جذب فلز مس را در ریشه گیاه سیب‌زمینی نسبت به شاهد افزایش داد (Angelova *et al*., 2010).

انباشتگی فلز مس در شاخساره

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ترکیبات آلی خاک، سولفات مس و برهمکنش آن‌ها بر میزان انباشت فلز مس در شاخساره از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۰). نتایج برش‌دهی اثر ترکیبات آلی خاک بر میزان انباشت فلز مس در شاخساره در هر دو سطح صفر و ۵۰میلی‌گرم سولفات مس در کیلوگرم وزن خشک خاک در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود (جدول ۱۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سطح صفر (بدون سولفات مس) میزان انباشت فلز مس در شاخساره لوبیا در سطح شاهد (خاک معمولی) افزایشی به ترتیب به میزان ۲/۷۷ و ۳/۸۵میلی‌گرم مس در کیلوگرم وزن خشک شاخساره نسبت به کاربرد کمپوست و ورمی‌کمپوست نشان داد. همچنین کمترین مقدار این صفت مربوط به کاربرد خاک‌اره سپیدار با میانگین ۱/۷۵میلی‌گرم مس در کیلوگرم وزن خشک شاخساره بود که با کاربرد ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت. در سطح ۵۰میلی‌گرم سولفات مس، میزان انباشت فلز مس در شاخساره لوبیا در کاربرد خاک‌اره سپیدار نسبت به شاهد (خاک معمولی) افزایشی به میزان ۱/۲۵میلی‌گرم مس در کیلوگرم وزن خشک شاخساره نشان داد. همچنین میزان انباشت فلز مس در شاخساره لوبیا در کاربرد خاک‌اره سپیدار با کاربرد ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۱۲).

هنگامی که غلظت مس در خاک کم باشد، ترکیبات آلی با تثبیت و غیرفعال‌کردن مس قابل‌دسترس، سبب کاهش جذب و انباشتگی فلز مس توسط گیاه می‌شود، اما در غلظت‌های بالای مس در خاک، افزودن کمپوست، ورمی‌کمپوست و خاک‌اره سپیدار جهت تثبیت تمام مس قابل دسترس کافی نخواهد بود. جذب فلز مس در شاخساره گیاه ذرت در کمپوست نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Carbonell *et al*., 2011). همچنین محققان گزارش نمودند کاربرد پنج درصد کمپوست، پیت و ورمی‌کمپوست جذب فلز مس را در ساقه و برگ سیب‌زمینی نسبت به شاهد افزایش داد و این افزایش در کمپوست بیشتر از پیت و ورمی‌کمپوست بود (Angelova *et al*., 2010). در مطالعه حاضر نیز نتایج مشابهی به دست آمد. همچنین نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که غلظت مس در بافت شاخساره در تمامی سطح‌ها به غیر از شاهد در محدوده میزان کافی آن در برگ‌ها (کمتر از ۵میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) بود.

انباشتگی فلز مس در دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ترکیبات آلی خاک در سطح احتمال پنج درصد، سولفات مس در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش آن‌ها بر میزان انباشت فلز مس در دانه از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار بودند (جدول۱۰). نتایج برش‌دهی اثر ترکیبات آلی خاک نشان داد که در سطح بدون سولفات مس میزان انباشت فلز مس در دانه در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌داری بود؛ اما در سطح ۵۰میلی‌گرم سولفات مس در کیلوگرم وزن خشک خاک اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند (جدول ۱۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سطح صفر (بدون سولفات مس) میزان انباشت فلز مس دانه لوبیا در کاربرد کمپوست افزایش به میزان ۱میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک دانه نسبت به شاهد (خاک معمولی) نشان داد. همچنین کمترین مقدار این صفت در کاربرد خاک‌اره سپیدار با میانگین ۲/۱میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک دانه بود و با سطح شاهد فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بود (جدول ۱۲). اثر مثبت ورمی‌کمپوست بر جذب مس در دانه ذرت مشاهده گردید، ولی با افزایش ورمی‌کمپوست از ۲/۵ به ۵درصد این میزان کاهش یافت. این مسئله احتمالاً به دلیل افزایش کمپلکس‌سازی مواد آلی با عناصر میکرو و در نتیجه کاهش دسترسی گیاه به آن‌ها می‌باشد (Yaghtin *et al*., 2010). این نتیجه در مطالعه حاضر با سطح شاهد همخوانی دارد.

جدول ۱۲- مقایسه میانگین اثر ترکیبات آلی خاک در سطوح مختلف سولفات مس برای انباشتگی مس ریشه، شاخساره و دانه لوبیاچیتی

Table 12. The mean comparison of the soil organic compositions effect in different copper sulfate for copper

accumulation in root, shoot and seed of pinto bean

سولفات مس (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک خاک) Copper sulfate (mg per kg of dry weight of soil)	ترکیبات آلی خاک Soil organic compounds	مس ریشه Copper of root	مس شاخساره Copper of shoot	مس دانه Copper of seed
		(میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) (mg per kg of dry weight)		
0	خاک معمولی Normal soil	9.08 b	5.85 a	2.83 b
	کمپوست Compost	10.75 b	3.08 b	3.83 a
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	9.83 b	2.00 c	2.75 b
	خاکاره سپیدار Populus sawdust	28.33 a	1.75 c	2.16 b
50	خاک معمولی Normal soil	12.00 c	3.50 b	3.50 a
	کمپوست Compost	40.83 ab	3.50 b	3.83 a
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	33.83 b	4.41 ab	4.08 a
	خاکاره سپیدار Populus sawdust	52.50 a	4.75 a	3.83 a

در هر ستون و هر سطح از سولفات مس خاک میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون L.S.Means ندارند.

Means followed by the same letters in each column and soil copper sulfate level are not significantly different by L.S.Means test

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که غلظت فلزات سنگین در بافت ریشه لوبیاچیتی به مراتب بیشتر از بافت‌های شاخساره و دانه بود که دلیل آن را می‌توان به پویایی کم فلزات سنگین نسبت داد. غلظت کادمیوم در شاخساره گیاه لوبیاچیتی کمتر از میزان سمی این فلز در برگ‌های گیاهان، اما بیشتر از میزان کافی آن در برگ‌ها بود. همچنین غلظت نیکل و مس نیز پایین‌تر از میزان سمیت آن‌ها در برگ‌ها و در محدوده کافی مقدار آن‌ها در برگ لوبیا بود. در مجموع با توجه به انباشت کم فلزات سنگین در دانه لوبیاچیتی و جذب زیاد توسط ریشه و شاخساره، این گیاه جهت کشت در مناطق آلوده مناسب و درصورت امکان خروج ریشه و شاخساره از زمین و رشد سریع گیاه جهت گیاه پالایی نیز مناسب است.

منابع

1. Angelova, V., Ivanova, R., Pevicharova, G., and Ivanov, K. 2010. Effect of organic amendments on heavy metals uptake by potato plants. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1-6 August 2010, Brisbane, Australia, 84-87.
2. Baker, A.J.M., and Brooks, R.R. 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry. Biorecovery, Academic Publishers 1: 81-126.
3. Basso, M.C., Cerrella, E.G., and Cukierman, A.L. 2002. Lignocellulosic materials as potential biosorbent of trace toxic metal from wastewater. Industrial Engineering Chemistry Research 41: 3580-3585.
4. Carbonell, G., Imperial, R.M.D., Torrigos, M., Delgado, M., and Rodriguez, J.A. 2011. Effect of municipal solid waste compost and mineral fertilizer amendments on soil properties and heavy metals distribution in maize plants (*Zea mays* L.). Chemosphere 85: 1614-1623.
5. Carrasquero Duran, A., Flores, I., Perozo, C., and Pernalete, Z. 2006. Immubilization of lead by a vermicompost and its effect on white bean (*Vigna sinenis* var. Apure) uptake. Environmentally Sciences Technology 3: 203-212.

6. Chang, A.C., Page, A.L., and Warneke, J.E. 1987. Long-term sludge application on cadmium and zinc accumulation in Swiss chard and radish. Environmental Quality 16: 217-221.
7. Chlopecka, A., and Adriano, D.C. 1997. Influence of zeolite, apatite and Fe-oxide on Cd and Pb uptake by crops. Science of the Total Environment 207: 195-206.
8. Hall, J.L. 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. Journal of Experimental Botany 53: 1-11.
9. Islam, E., Liu, D., Li, T., Yang, X., Jin, X., Mahmood, Q., Tian, S., and Li, J. 2008. Effect of Pb toxicity on leaf growth, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*. Journal of Hazardous Materials 154: 914-926.
10. Jadia, C.D., and Fulekar, M.H. 2008. Phytoremediation: The application of vermicompost to remove zinc, cadmium, copper, nickel and lead by sunflower plant. Environmental Engineering and Management 7(5): 547-558.
11. Kafi, M., Borzooyi, A., Salehi, M., Masumi, A., and Nabati, J. 2009. Environmental Stress Physiology of Plants. SID of Mashhad. Press, 502 p. (In Persian).
12. Kayser, A., Wenger, K., Keller, A., Attinger, W., and Schulin, R. 2000. Enhancment of phytoextraction of Zn, Cd, and Cu from calcarieous soil: The use of NTA and sulfur amendments. Environmentally Sciences Technology 34: 1778-1783.
13. Khan, A.G. 2005. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 18: 355-364.
14. Lasat, M.M. 2003. Phytoextraction of metals from contaminated soil: A review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. Journal of Hazardous Substance Research 2: 1-25.
15. Lavando, R.S. 1998. Heavy metal in soil of Argentina: comparision between urban and agricultural soil commun. Communications in Soil Science and Plant Analysis 29: 1913-1917.
16. Mahendran, R.P. 2014. Phytoremediation-insights into plants as remedies. Malaya Journal of Biosciences 1(1): 37-41.
17. Mench, M.J., Didier, V.L., Loffler, M., Gomez, A., and Masson, P. 1994. A mimicked 1n-situremediation study of metal contaminated soils with emphasis on cadmium and lead. Environmental Quality 23: 58-63.
18. Mousavi, S.M., Bahmanyar, M.A., and Pirdashti, H. 2012. Nickel and chromium status in soil and rice under vermicompost treatment. Soil Management and Sustainable Production 1(1): 43-61. (In Persian with English Abstract Summary).
19. Mozaffari, A., Habibi, D., Maleki, A., and Babai, F. 2013. Evaluation ability of some crop species for remedation of heavy metal cadmium (Cd) in contaminated soils. Journal of Agronomy and Plant Breeding 3:1-14. (In Persian with English Summary).
20. Park, J.H., Lamb, D., Paneerselvam, P., Choppala, G., Bolan, N., and Chung, J.W. 2011. Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal (loid) contaminated soils. Hazardous Materials 185: 549-574.
21. Raskin, I., Smith, R.D., and Salt, D.E. 1997. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. Current Opinion in Biotechnology 8: 221-226.
22. Vogel-Mikus, K., Drobne, D., and Regvar, M. 2005. Zn, Cd and Pb accumulation and arbuscular mycorrhizal colonisation of pennycres *Thlapi praecox* Wulf (Brassicaceae) from the vicinity of a lead mine and smelter in Slovenia. Environmental Pollution 133: 233-242.
23. Yaghtin, Sh., Moez Ardalan, M., Shorafa, M., and Alikhani, H.A. 2010. Effects of municipal waste compost and vermicompost on growth and nutrients uptake of corn. Journal Water and Soil 19(2): 35-43. (In Persian with English Summary).
24. Yandi, J., Zhenli, H.E., and Xiaoe, Y. 2007. Role of soil *rhizobacteria* in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Zhejiang University Science Biological 8: 192-207.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 9, No. 2, 2018, p. 41-54

Effect of different growing substrates on heavy metals accumulation in Pinto bean (*Phaseolus vulgaris*)

Balouchi[1*], H., Amini[2], F., Movahhedi Dehnavi[1], M. & Attarzadeh[3], M.

1. Associated Professor of Agronomy and Plant Breeding Department, Yasouj University
2. MSc. Student of Agronomy, Agronomy and Plant Breeding Department, Yasouj University
3. Ph.D. Student of Agronomy, Agronomy and Plant Breeding Department, Yasouj University

Received: 23 April 2016
Accepted: 13 January 2017

DOI: 10.22067/ijpr.v9i2.55252

Introduction

Contamination of soils with heavy metals is often resulted from human activities and phytoremediation is an effective and economic strategy to remove toxic metals from soils. Heavy metals are significant environmental pollutants, and their toxicity is a problem of increasing significance for ecological, evolutionary, nutritional and environmental reasons. The term ‘‘heavy metals’’ refers to any metallic element that has a relatively high density greater than 4 g/cm^3, or 5 times or more, greater than water and is toxic or poisonous even at low concentration. However, chemical properties of the heavy metals are the most influencing factors compared to their density. Heavy metals include lead (Pb), cadmium (Cd), nickel (Ni), cobalt (Co), iron (Fe), zinc (Zn), chromium (Cr), iron (Fe), arsenic (As), silver (Ag) and the platinum group elements. Plants experience oxidative stress upon exposure to heavy metals that leads to cellular damage. In addition, plants accumulate metal ions that disturb cellular ionic homeostasis. To minimize the detrimental effects of heavy metal exposure and their accumulation, plants have evolved detoxification mechanisms. Such mechanisms are mainly based on chelation and subcellular compartmentalization. Chelation of heavy metals is a ubiquitous detoxification strategy described in wide variety of plants. The aim of this study was to investigate the effect of different compounds to reduce the toxicity and accumulation of heavy metals in the planting bed is pinto beans.

Materials & Methods

In order to evaluate the effects of different growing substrates on reducing toxicity and phytoremediation bean (cv. Sadri) under heavy metals, a greenhouse experiment was conducted as a factorial for four heavy metals ($Cd(NO_3)_2$, $Pb(NO_3)_2$, $Ni(NO_3)_2$ and $CuSO_4$) seperately, based on CRD design with three replications in Yasouj University, 2013. The first factor included of four levels of different growing substrates (control, compost, vermicompost and Populus sawdust) and the second factor included of two levels of heavy metals (heavy metals with 50 mg kg^{-1} soil concentration and control).

Results & Discussion

Analysis of variance showed that the effect of organic compounds and cadmium nitrate in the soil and their interactions on amounts of cadmium accumulation in roots, shoot and grain was statistically

*Corresponding Author: balouchi@yu.ac.ir

significant. Compost and vermicompost significantly increased cadmium. Vermicompost can be used to remove metals from contaminated soils used because it is linked with metals and increases nutrient uptake by providing. A cadmium concentration in shoot tissue was more than adequate at all levels of the leveas (0.2-0.05 mg/kg dry weight). Lead levels in the tissues of roots, shoots and seeds in all treatments were the detection limit. It seems that due to the low accumulation of lead in beans can be attributed to the low mobility of lead in soil and plant. Means comparison showed the highest accumulation of nickel in the root of the control (normal soil) with an average of 14.45 mg/kg dry weight of roots and the lowest value of this attribute in use of poplar sawdust with an average of 11.42 mg/kg root dry weight that using compost and vermicompost was not significantly different. Analysis of variance showed that the effect of organic compounds in soil, copper sulfate and their interactions on the amount of copper metal roots was significant. When the low copper concentration in soil, compost and vermicompost with the stabilization of copper available and disabling decrease copper absorption and accumulation by the plants, but the high concentration of copper in the soil, add compost, vermicompost and poplar sawdust will not be enough to stabilize all accessible copper. In this study, the use of poplar sawdust to accumulate the highest amount of copper in copper sulphate roots in levels zero and 50 mg per kg dry weight soil.

Conclusion

The results showed that the use of compost and vermicompost increased amounts of cadmium accumulation in shoot and root. On the other side, compost and Populus sawdust decreases the amount of nickel in the bean shoot and root. Also, the highest accumulation of copper in roots of beans was achived by application of the Populus sawdust and compost. Accumulation of heavy metals in roots far more than shoots and seeds. In general, the results of this study showed that due to low accumulation of heavy metals in the seed of bean and high absorption by the root and shoot, this plant is suitable for cultivation in contaminated areas and if possible leaving the roots and shoots is also appropriate for the purification.

Keywords: Cadmium Nitrate, Compost, Copper Sulphate, Nickel Nitrate, Phytoremediation, Populus sawdust